

10. Sluneční skvrny

Sluneční fyzika
LS 2007/2008

Michal Švanda

Astronomický ústav MFF UK
Astronomický ústav AV ČR

Magnetická pole na Slunci

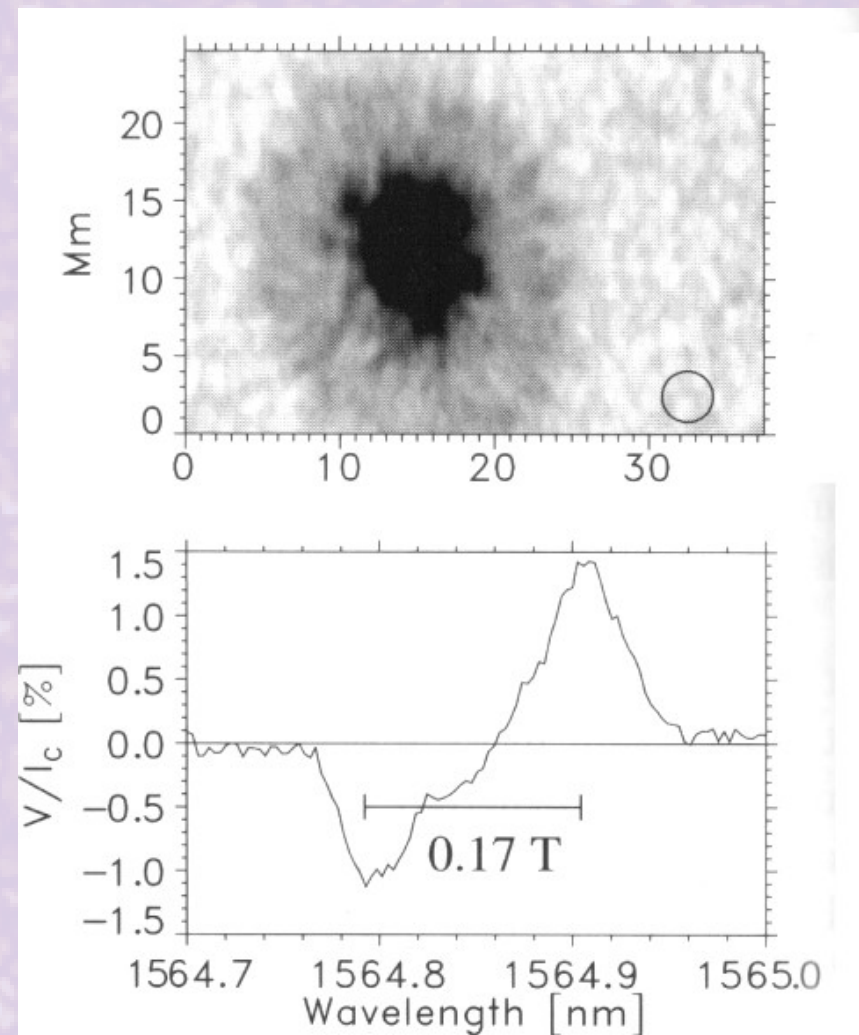
- Pozorována
 - Ve fotosféře (skvrny, knoty, fakule, póry, jasné body)
 - V chromosféře (vláknitá struktura, plage, spikule, protuberance)
 - V koróně (protuberance, paprsková struktura)
- Obecně 3-D struktura
- Vývoj v čase
 - Vznik, vývoj a rozpad skvrn
 - Dynamika malorozměrových magnetických polí
 - Erupce, vývoj protuberancí
- Pozorovací metody
 - Zeemanův jev
 - Hanleho jev
 - (Spektro)polarimetrie

Pozorovací důkazy magnetických trubic

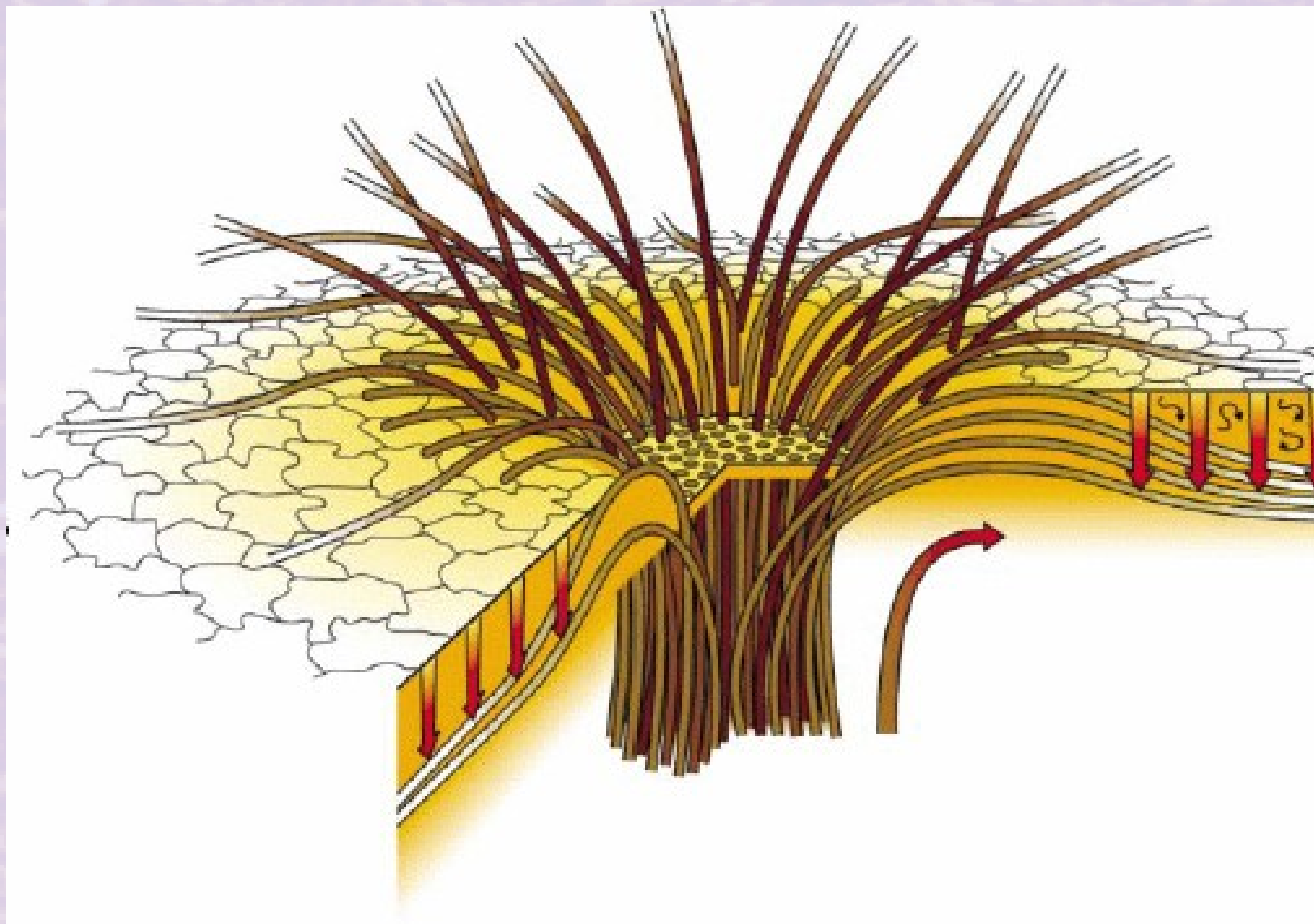
- Skvrny – velké tlusté trubice se silným polem < 6000 Gaussů
 - Póry – slabší trubice, $B \sim 1500$ G
- Magnetické knoty – neviditelné v bílém světle, viditelné ve spektrogramech kvůli rozšíření Zeemanem
- Malé magnetické elementy – CH-pásky v G-bandu (430 nm)
 - Pohyby v intergranulárních prostorech 0,5–5 km/s, velikosti 150–600 km, v oblastech koncentrovaných magnetických polí
- Fakule – v oblastech koncentrovaného magnetického pole
 - Důsledek deprese mg. pole – „evakuovaná“ oblast, pohled na „horké stěny“

Magnetické knoty

- V okolí skvrn, neviditelné ve V, zeemanovské pole v IR
- Opačná polarita než skvrna
- Celkově srovnatelný tok jako skvrna
- Pozorují se toky dolů
- ? zpět se ponořující trubice ze svazku tvořící skvrnu?

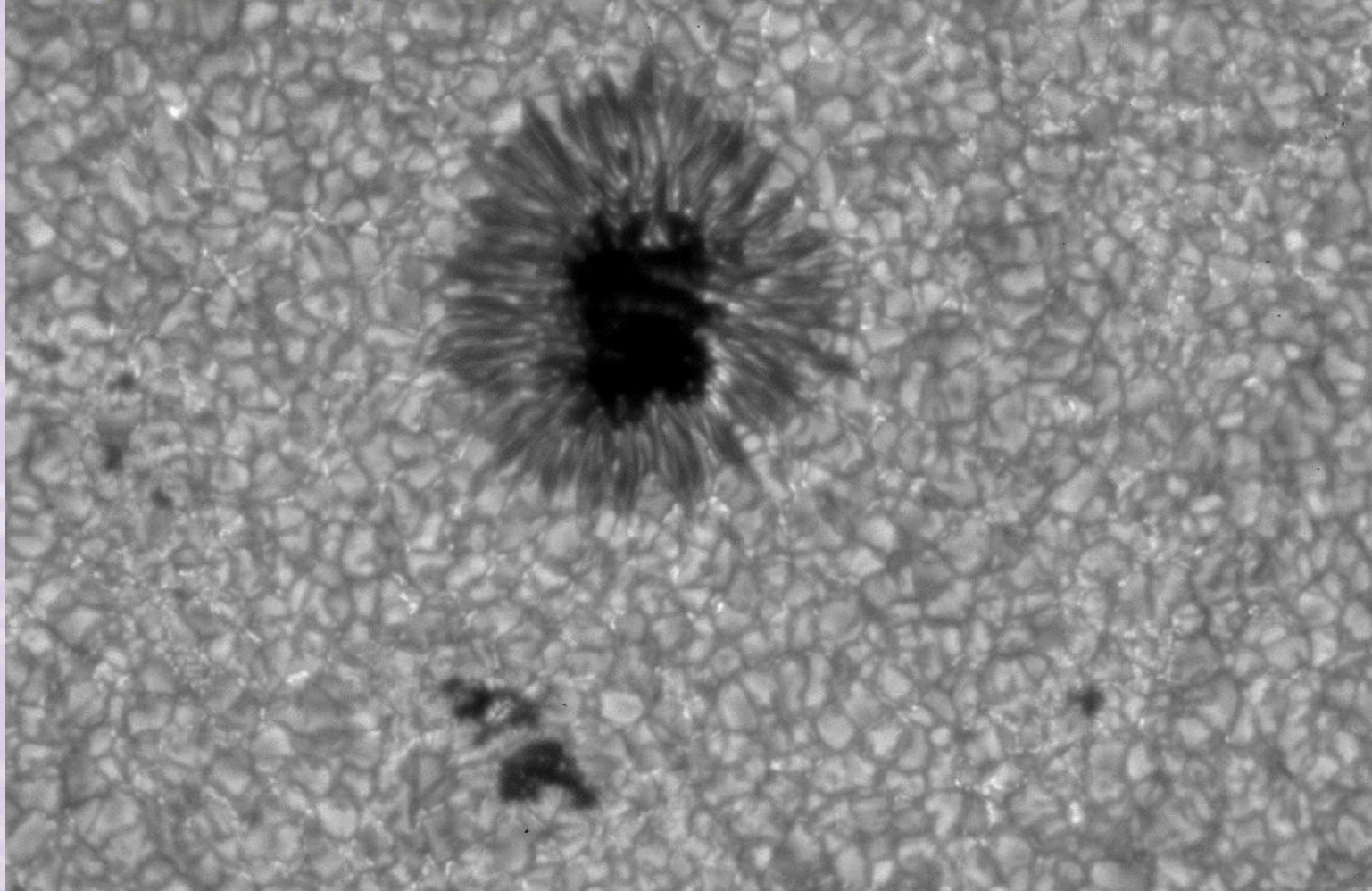


Vracející se svazky



Sluneční skvrna

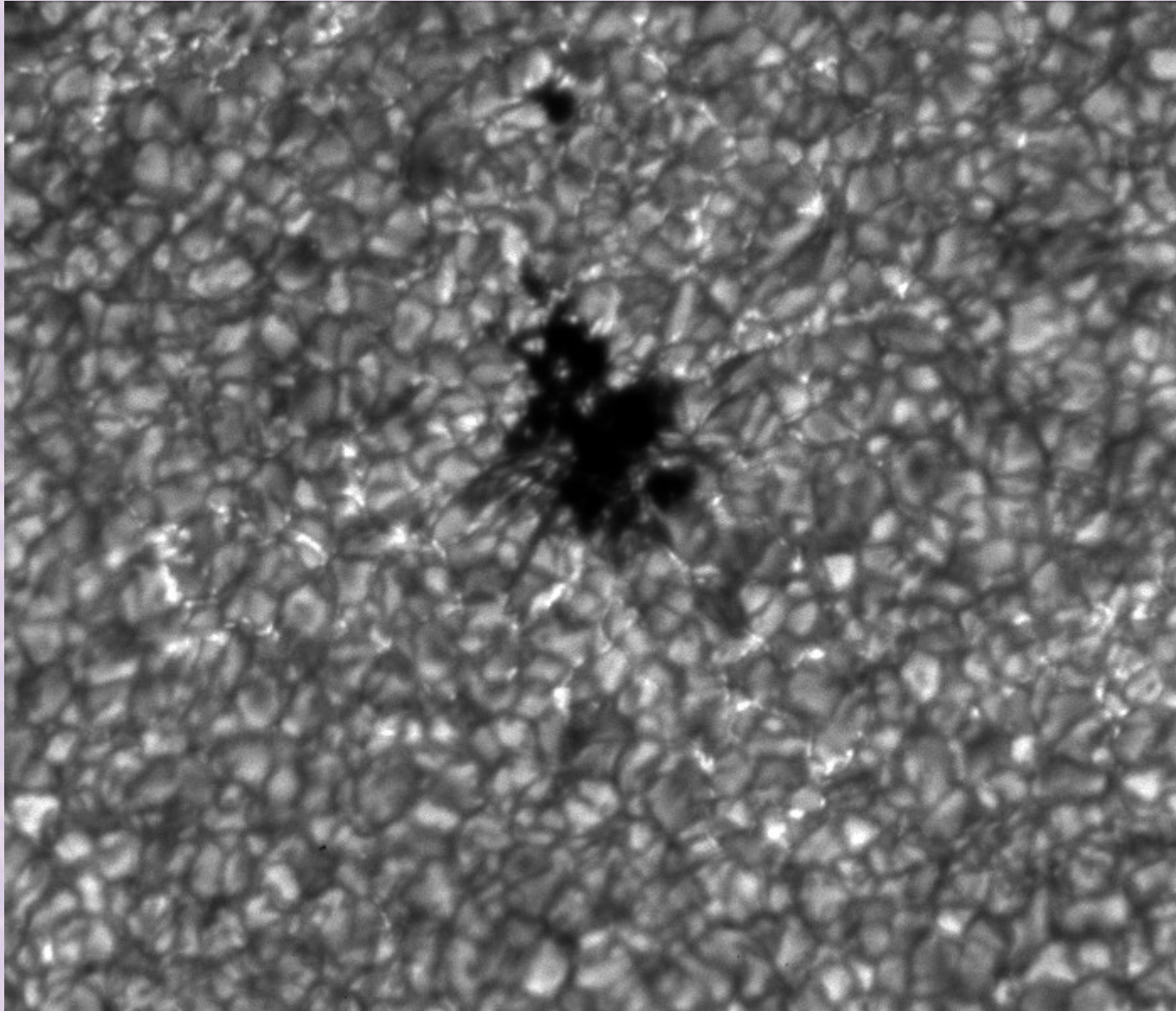
14 June 1994: Continuum Intensity



Source: Kiepenheuer/Uppsala/Lockheed (P. Brandt, G. Simon, G. Scharmer, D. Shine)

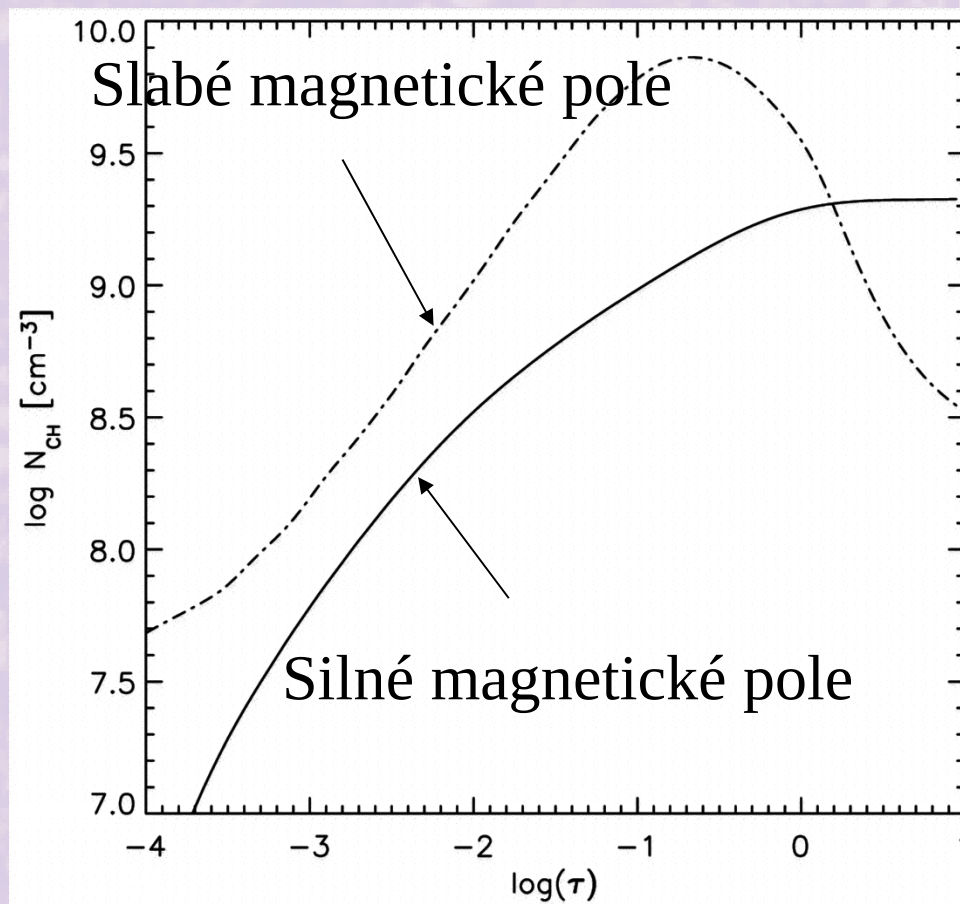
HAO A-003

Malé magnetické elementy



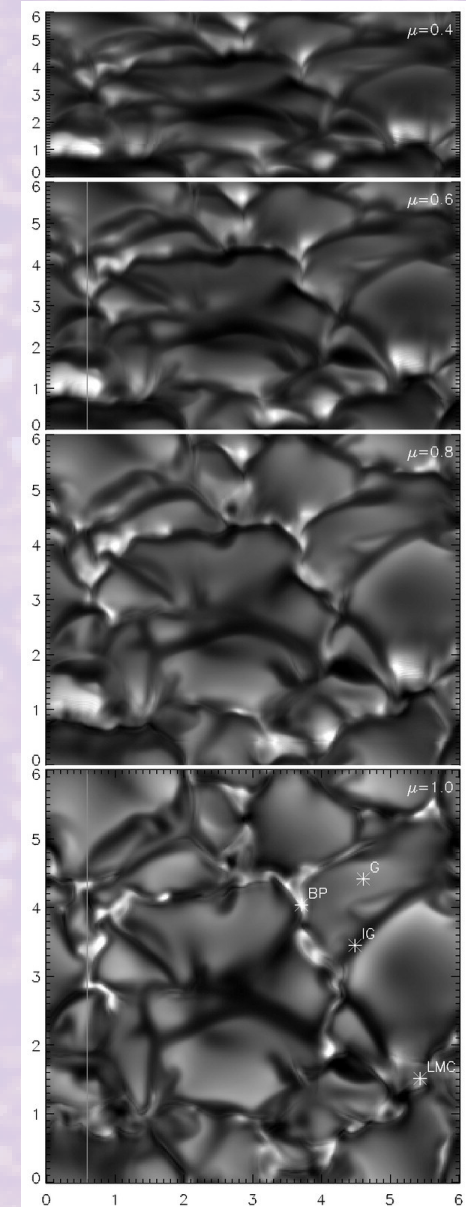
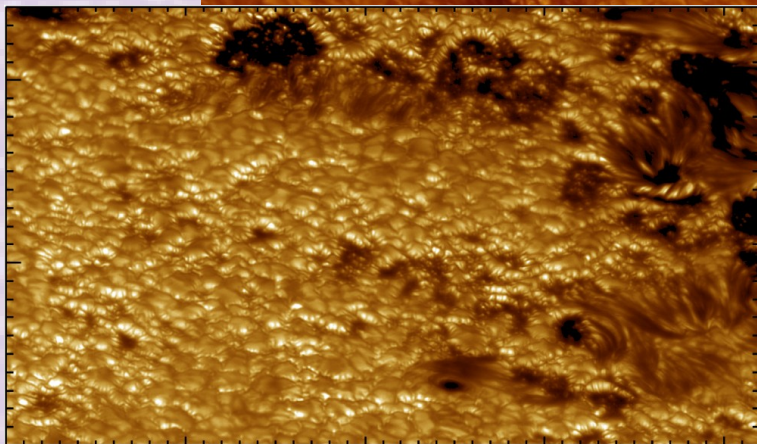
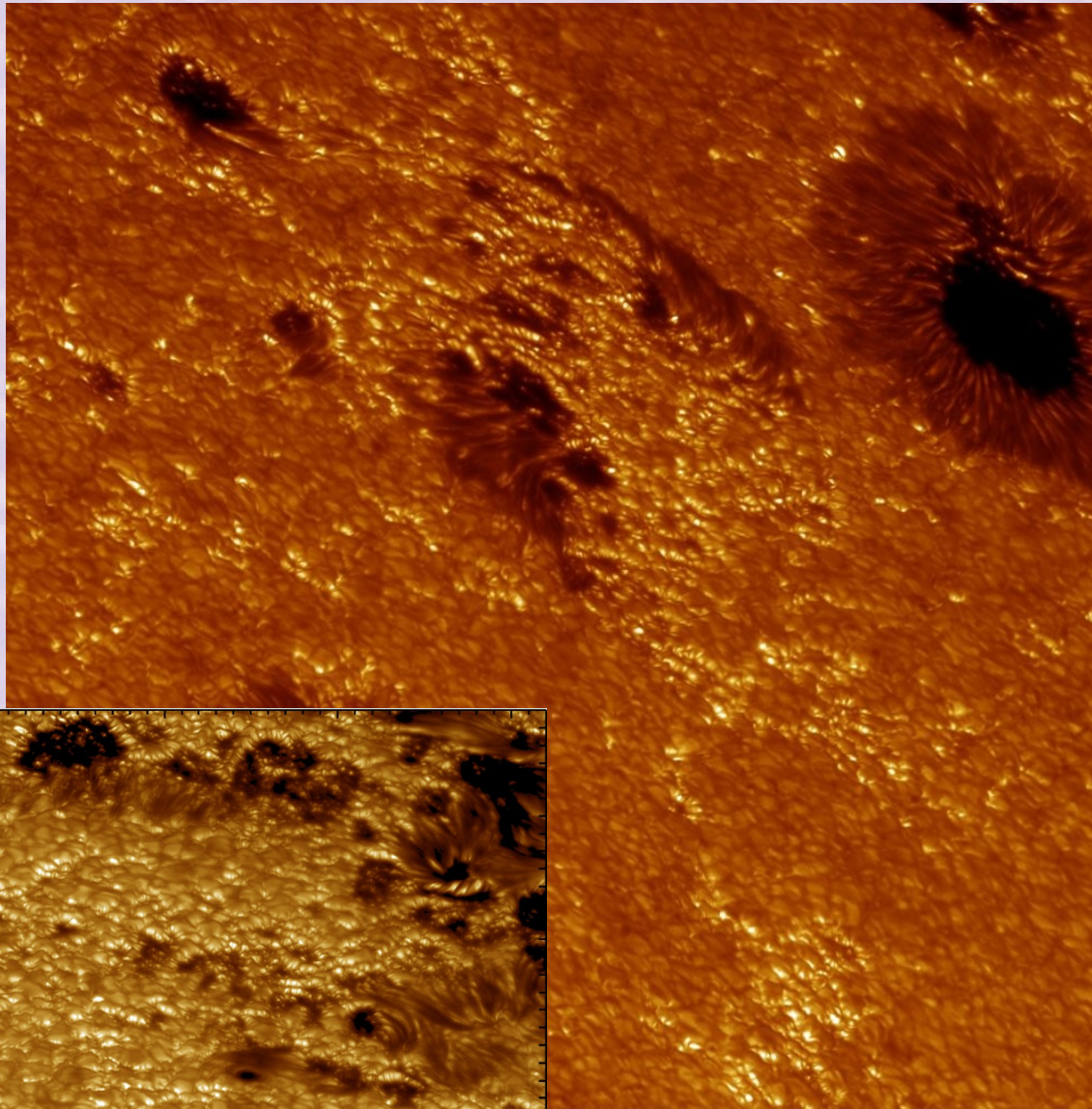
Zjasnění magnetických elementů v G-bandu

- V magnetických oblastech dochází k rozpadu molekul CH
 - Vyšší teplota (vyšší rychlost disociace)
 - Je důsledkem podélného ohřevu téměř transparentního vnitřku trubice
 - Nižší hustota (méně asociativních kolizí)
- Nižší koncentrace CH
 - nižší absorpce v pásu molekuly
 - relativní zjasnění

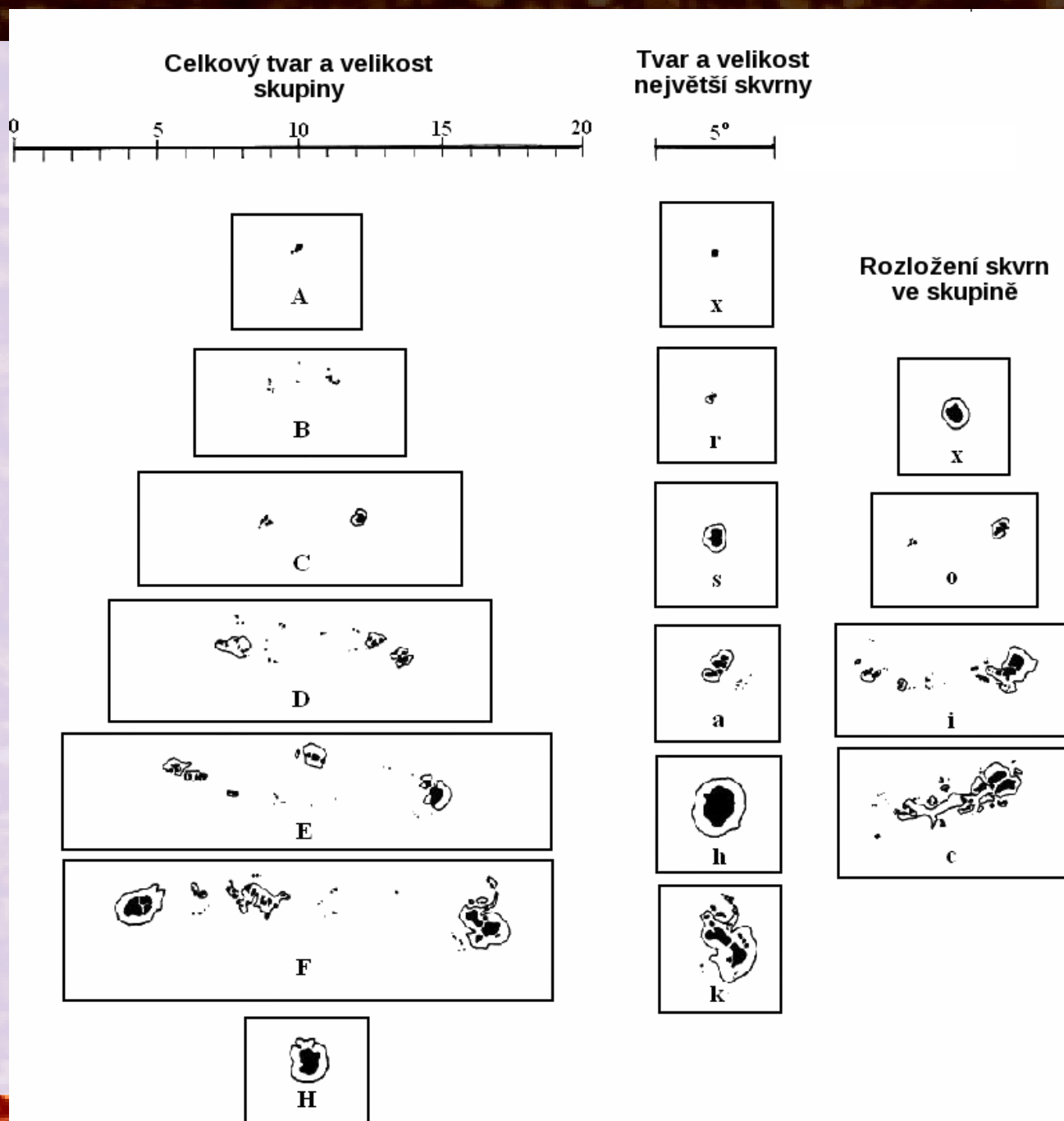


↑
Hloubka formování pásu G

Fakule



McIntoshova klasifikace slunečních skvrn



Morfologická klasifikace aktivních oblastí

- α – unipolární skupina
- β – skupina mající obě polarity, jež jsou oddělené
- γ – skupina, kde jsou obě polarity rozděleny tak nepravidelně, že znemožňují klasifikaci jako β
- β - γ – bipolární skupina, kde k oddělení polarit nestačí jedna nepřerušovaná linie
- δ – dvě umbry v jedné penumbře vzdálené méně než 2° mají opačné polarity
- β - δ – skupina klasifikovaná jako β obsahující jednu nebo více δ skvrn
- β - γ - δ – skupina klasifikovaná jako β - γ obsahující jednu nebo více δ skvrn
- γ - δ – skupina klasifikovaná jako γ obsahující jednu nebo více δ skvrn

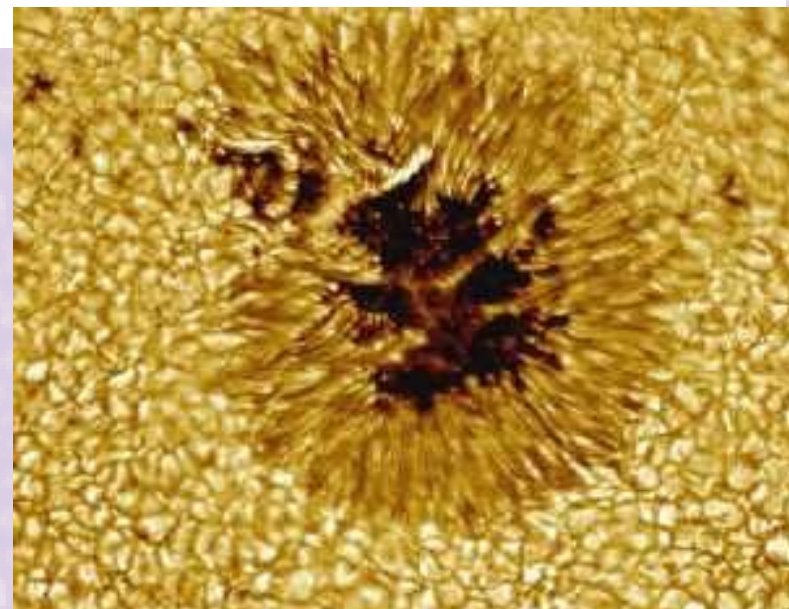
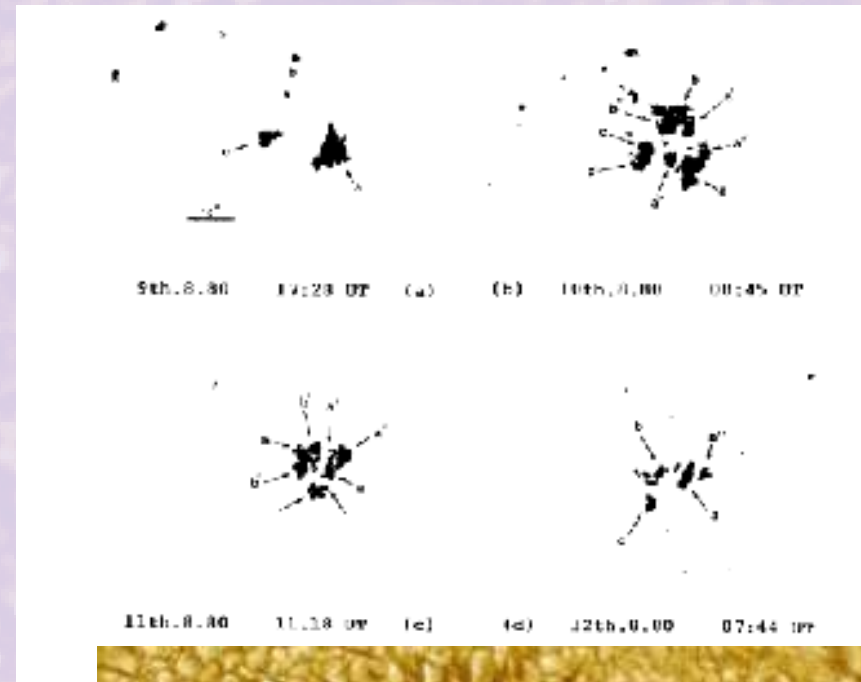
Velkorozměrová struktura

- Umbra
 - Temná jádra, mezi nimi často světelné mosty, hlouběji ve fotosféře (až o 1000 km) – Wilsonova deprese
 - Silnější magnetické pole (až 6000 G), pole je víceméně vertikální k fotosféře
- Penumbra
 - Vlákňitá
 - Pole slabší (~1500 G), více skloněné k fotosféře (~70 stupňů vůči normále)
- Moat
 - Tok od penumbry ven
- Evershedův jev
 - Systematický tok (~4 km/s) v penumbře radiálně ze skvrny

Pohyby ve skvrně



- Fragmenty, z nichž skvrna vzniká – jsou k sobě tlačeny supergranulemi
- Udržují si identitu
- Rozpad opět po fragmentech
- Samotné vynořování – Ω loop
- Dynamická diskonexe od kořenů



Vynořování magnetického pole



Vynořování magnetického pole (helioseismologie)



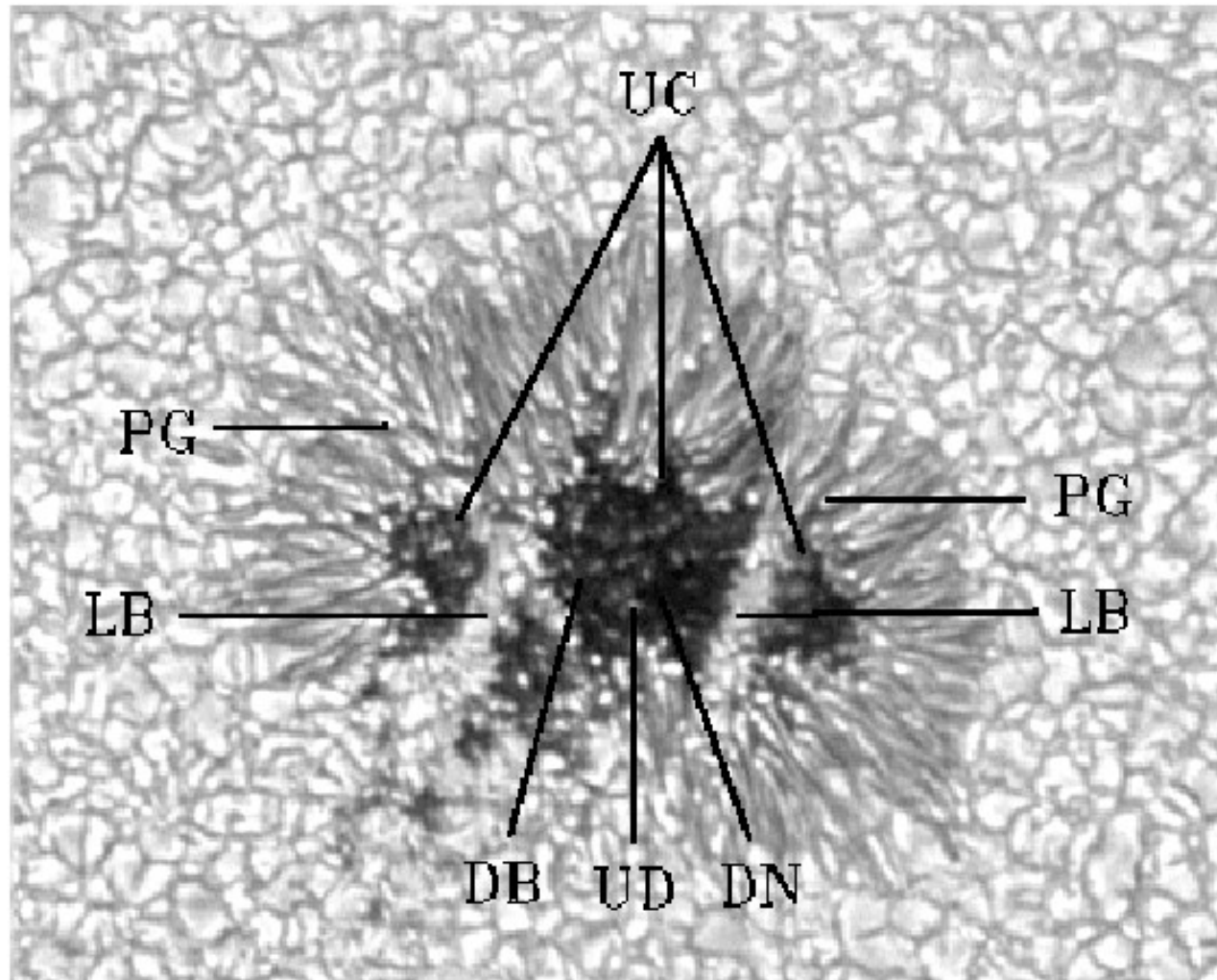
- Umbrální body
 - Většinou nerozlišené – v histogramu není typická velikost
 - Formují se na hranicích fragmentů
 - Zřejmě degenerované granule
- Světelné mosty
 - Slabší pole, skloněnější než v umbře (jeskyně)
 - Často granulární struktura
- Penumbrální filamenty
 - V podstatě stále neznámá tloušťka
 - Tmavé (více skloněné) a světlé
- Penumbrální zrna
 - Tvoří jasné filamenty, radiální pohyby (uvnitř do umbry, vně do klidné fotosféry)

Jemná struktura v pohybu



Jemná struktura sluneční skvrny – obrázek

UC - umbral core, PG - penumbral grain, LB - light bridge, UD - umbral dot, DN - dark nucleus, DB - diffuse background



Polarimetrická pozorování slunečních skvrn

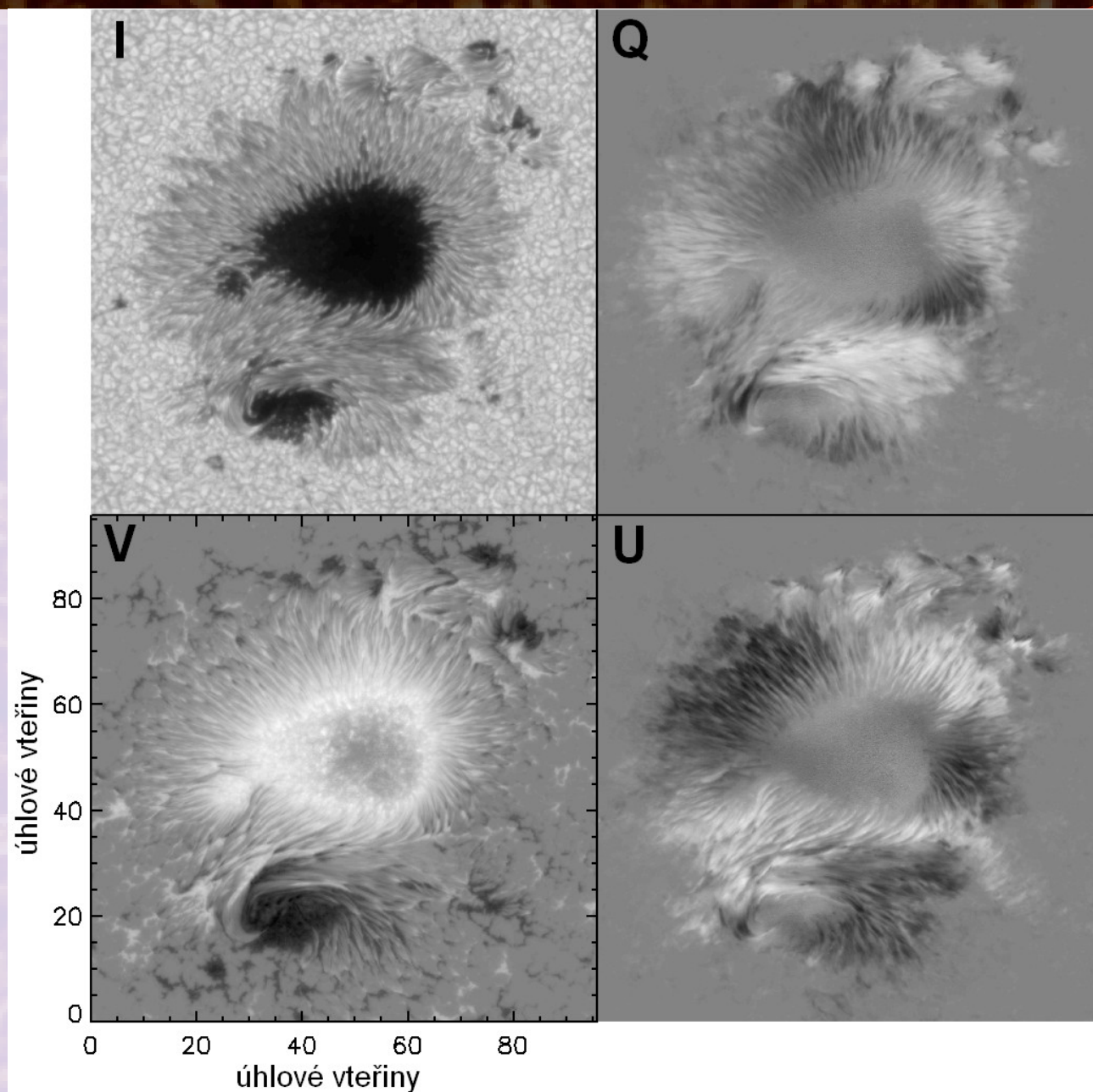
● Stokes

● I

● Q

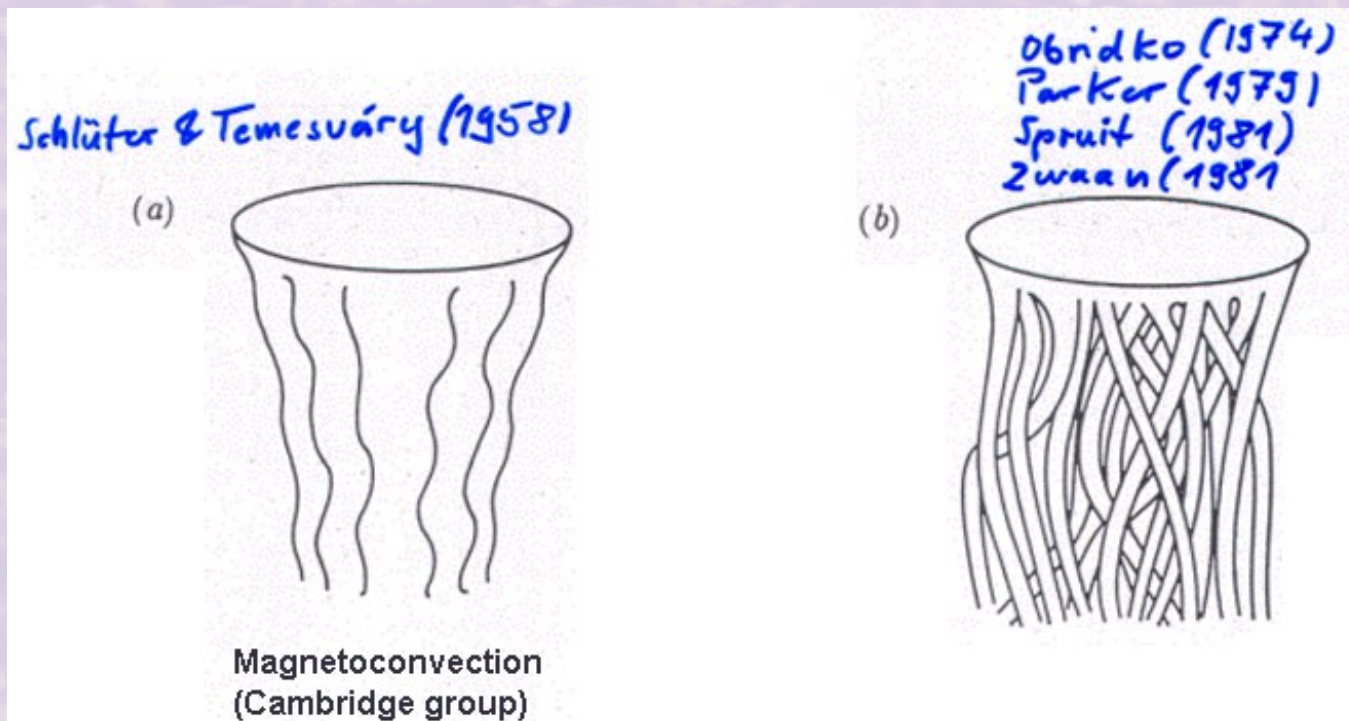
● U

● V



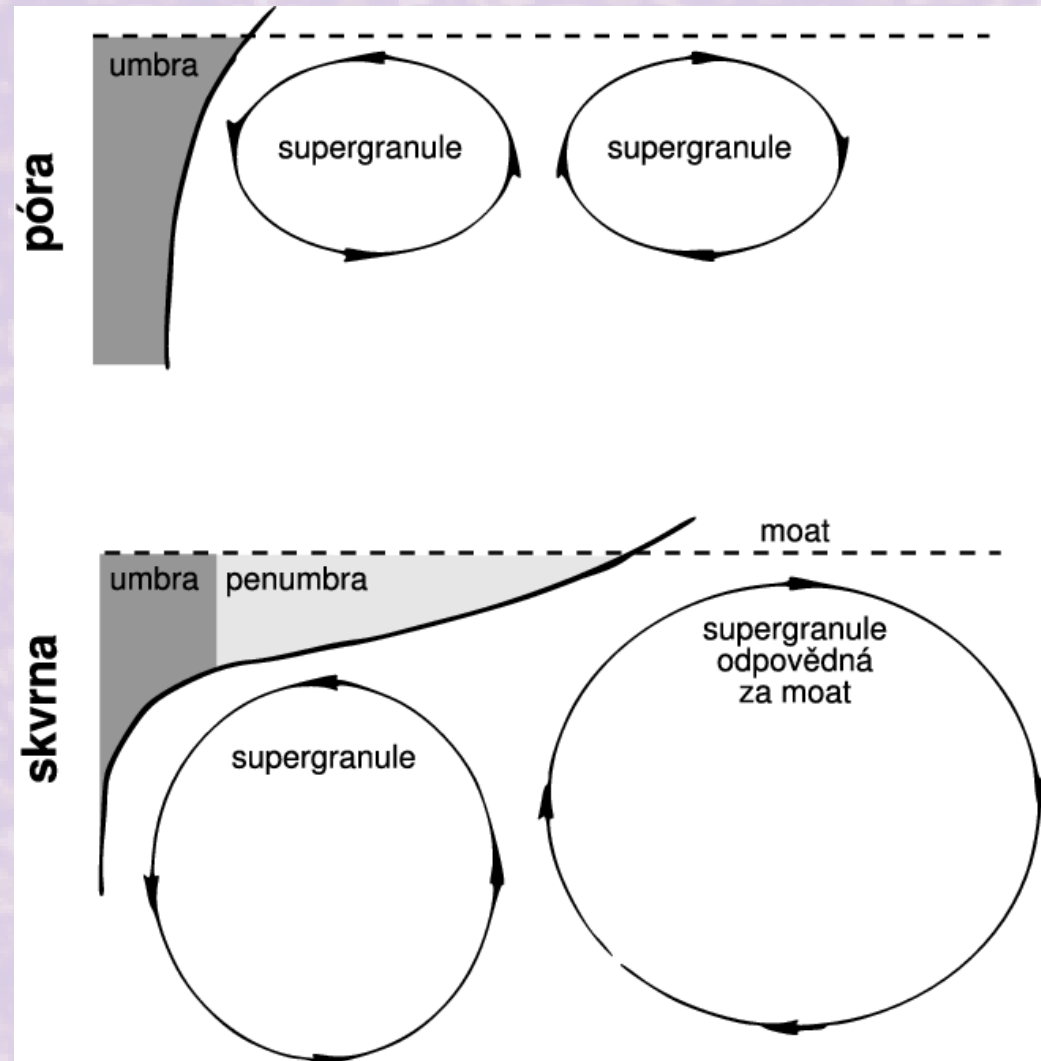
Modely slunečních skvrn

- Jednolitá trubice (magnetokonvekce)
- Svazkový model (spegheti)
- Mezi nimi nelze rozhodnout na základě fotosférických pozorování



Rozdíl mezi skvrnou a pórou

- Póra – bez penumbry
- Skvrna – s penumbrou
- Morfologický přechod není moc jasný, zřejmě souvisí s narušováním rovnováhy



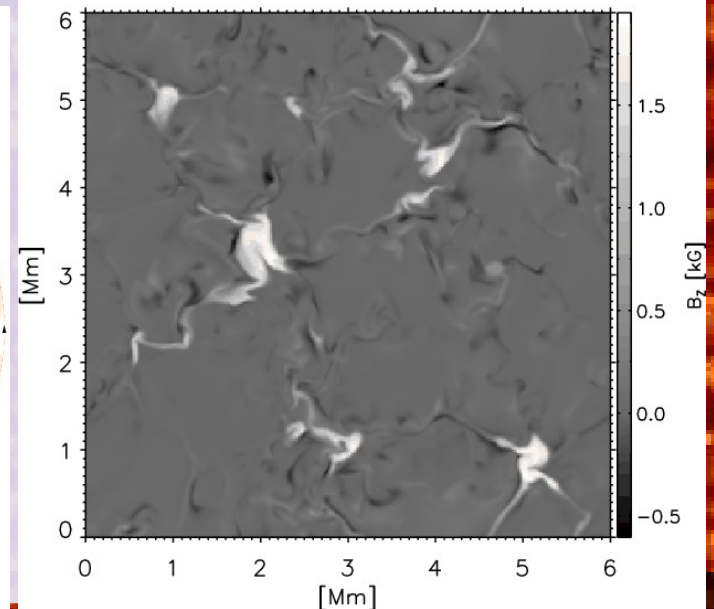
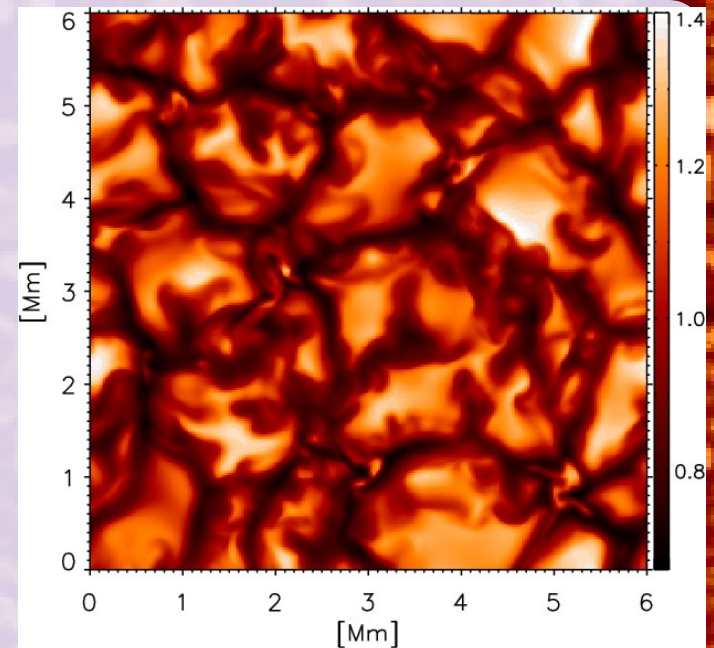
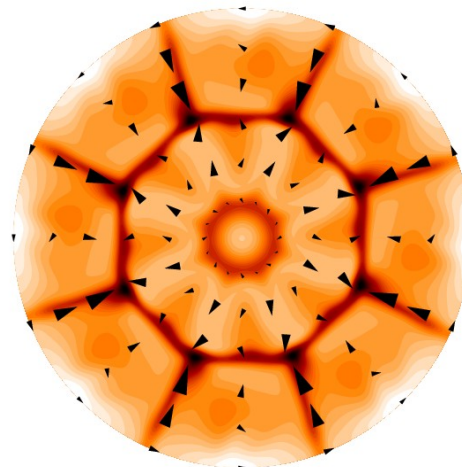
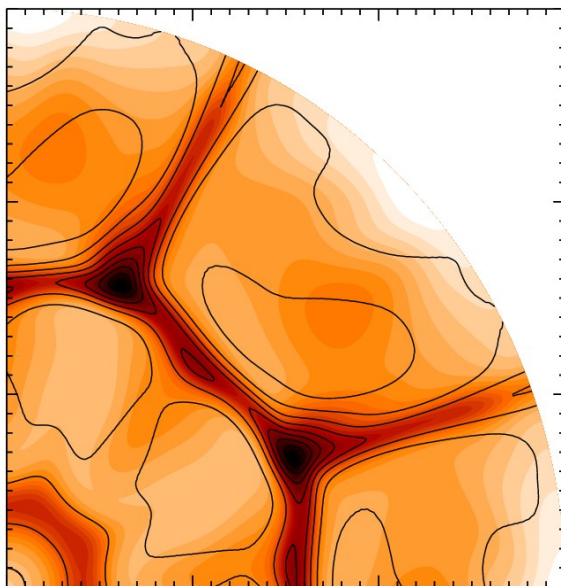
Schlichenmaierův model sluneční skvrny

- Vysvětluje dění v penumbře
- Složitý MHD model s přenosem záření



Magnetokonvektivní model

- Jednoduchá trubice, důsledek řešení MHD rovnic v konvektivním prostředí
- Též vysvětluje dění v umbře i penumbře jako důsledek degenerované granule



Helioseismická pozorování slunečních skvrn

- Mělké (~5000 km)
- Toky napříč – preferuje svazkový model
- Cca 5 Mm pod povrchem relativně ostré rozhraní mezi teplou a chladnou oblastí – toky horizontální cca 1 m/s

